

## REVISIONES ORIGINALES

### *Optimización de la calidad de la RCP y su medida*

**Autores:** Abella, Benjamin, y Retzer, Elizabeth

**Organización:** Emergency Resuscitation Center, Section of Emergency Medicine, University of Chicago Hospitals, Chicago, Illinois

Correspondencia a: babella@medicine.bsd.uchicago.edu

#### **Introducción:**

El paro cardiorrespiratorio es un problema sanitario enorme de salud pública, produciendo más de 300.000 fallecidos al año sólo en Estados Unidos (1,2). La sobrevida de estos eventos ha demostrado ser extremadamente baja. Menos del 20% de los pacientes sobreviven al alta hospitalaria desde un paro cardiorrespiratorio intrahospitalario y menos de un 5% sobrevive al alta de un paro cardiorrespiratorio extrahospitalario. (3,5). Actualmente, la terapia más fundamental y fácilmente disponible es la administración de la resucitación cardiopulmonar (RCP). Un número importante de investigaciones de laboratorio y clínicas han establecido que es de

crucial importancia para la RCP dar algún grado de perfusión tisular y tener las posibilidades de restablecer la circulación espontánea (ROSC) (6,9). Más impactante es el hecho de que recientemente se ha establecido que la RCP puede servir como un eje previo a la desfibrilación en el caso del paro cardiorrespiratorio por fibrilación ventricular (FV). (10,11). Dado éste énfasis renovado de la resucitación cardiopulmonar, es tal vez sorprendente que el monitoreo y la evaluación de la calidad de la RCP no hayan sido revisados en general, ya sea en el campo clínico o en la investigación.

La RCP comprende la ventilación como las compresiones torácicas. Claramente cada una

ha sido estipulada en guías sobre su administración (2). Estas guías han sido escritas bajo la supervisión del International Liaison Committee on Resuscitation (ILCOR) en conjunto con la American Heart Association, y actualizadas cada 5 años. La guía específica que las compresiones torácicas deben ser dadas a una frecuencia de 100/min y a una profundidad de 1.5 a 2 pulgadas por cada compresión y las ventilaciones deben ser dadas a un ritmo de 12 a 15 ciclos por minuto. La mayoría de los datos para las especificaciones han sido derivados desde los estudios en animales experimentales en las décadas pasadas. Debe hacerse notar que los datos en animales de experimentación no sostienen

la noción de que una RCP de mala calidad conducen a una reducción de la sobrevida después del paro cardiaco, aunque hay pocos datos en humanos que confirmen este principio. Sin embargo, es razonable plantearlo.

Una variedad de investigaciones ha demostrado los efectos problemáticos de la mala calidad de la RCP. Si la frecuencia de ventilación o los volúmenes son muy grandes, un gran número de consecuencias hemodinámicas deletéreas pueden aparecer, incluyendo el aumento de la presión intratorácica y la reducción de la presión de perfusión coronaria (CPP) (13,14). Inversamente, si las ventilaciones son dadas en forma muy lenta o en volúmenes muy pequeños la hipoxia y la acidosis hipercárbica pueden ser aseguradas (13). Los datos de laboratorio también sostienen la importancia de que las compresiones torácicas sean correctamente aplicadas. Compresiones muy lentas o superficiales conducen a un flujo sanguíneo inadecuado y a una reducción de la perfusión tisular (15,17). Si la frecuencia de la compresión torácica es muy alta, los tiempos de llenado intraventricular son inadecuados y reducen por lo tanto, el flujo. Más aún, la interrupción de la administración de la RCP también resulta en una consecuencia negativa desde el punto de vista hemodinámico. (18, 20). Con cada interrupción a la compresión, la presión de perfusión coronaria cae en forma aguda y sólo aumenta lentamente otra vez cuando las compresiones son resumidas (fig 1). A la luz de estos hallazgos, entonces, es importante que la calidad de la RCP sea monitoreada y optimizada cuando sea necesario para asegurar la sobrevida de un paciente que está en paro cardiaco.

#### **Mediciones de la calidad de la RCP**

Varias investigaciones han sugerido que la calidad de la RCP puede ser problemática en la práctica actual. En las observaciones intrahospitalarias hechas por Milander et al. documentaron que las compresiones torácicas han sido efectuadas a una frecuencia reducida, con frecuencias de

ventilación elevadas en una muestra de 12 intentos de RCP (21). Más recientemente, Aufderheide et al. observaron que la frecuencia respiratoria ha sido entregada por los paramédicos en el campo de trabajo. La frecuencia respiratoria fue marcadamente elevada con un promedio de  $30.30 \pm 3.2$  ventilaciones por minuto (22). Usando la tecnología novedosa de la desfibrilación automática para detectar los parámetros múltiples de la RCP, dos diferentes investigaciones han sido capaces de documentar un rendimiento de la RCP por profesionales entrenados en el hospital y en el set de paramédicos (23,24). Su trabajo confirma las mediciones previas usando otros métodos para capturar los datos de la RCP (25). En general, ambos estudios encontraron que las compresiones torácicas eran muy lentas y superficiales y eso era un problema común en la RCP actual. Adicionalmente, grandes pausas se encontraron durante los intentos de RCP. Los estudios de simulación con maniquíes han revelado resultados similares (21,20,27). Tomados en conjunto, estos resultados elevan la posibilidad de que la mala calidad de la RCP pueda servir como una razón de que la tasa de sobrevida sea tan reducida después del paro cardiorrespiratorio. (tabla 1 para el resumen de la calidad de la investigación de la RCP)

#### **Factores humanos en la calidad de la RCP**

Desafortunadamente, por la naturaleza de emergencia de la resucitación en el paro cardiorrespiratorio y las limitaciones inherentes del comportamiento humano, los factores humanos juegan un rol preponderante en la calidad de la RCP. Las investigaciones han sido realizadas para intentar identificar diferentes factores. Uno de los principales en el rendimiento de la RCP correcta es la fatiga del rescatador. En 1995, Hightower y sus colaboradores estudiaron no sólo el rendimiento de las compresiones en el tiempo, sino también la identificación del rescatador y la respuesta al rendimiento de la compresión inadecuada (28). Usando una aproximación de simulación se encontró que a pesar de la rápida caída

en la frecuencia de compresiones en los primeros minutos los rescatadores fallaron en identificar la declinación y la probable fatiga de los rescatadores. Dada la naturaleza sensitiva y del tiempo de la resucitación, la fatiga debe ser rápidamente identificada y corregida con un cambio en el rescatador. Un reporte más reciente ha confirmado esto estudiando la fatiga de los rescatadores (29). Otro trabajo ha evaluado el factor humano como liderazgo del equipo en los esfuerzos de resucitación y ha encontrado que frecuentemente falta un líder rápido y energético (30). En estas situaciones de estrés, a menudo caóticas de paro cardíaco, es probable que un líder y la cohesión del equipo sean factores importantes en el cuidado adecuado. Otros factores no estudiados y relacionados al ambiente durante los esfuerzos de la resucitación cardiopulmonar son la cantidad excesiva de personal y de ruido, pero el efecto de estos temas en los rescatadores aún no ha sido determinado. Factores adicionales que requieren evaluación se relacionan con las comunicaciones de los miembros del equipo durante el proceso de RCP y la capacidad del equipo para corregir adecuadamente y usar herramientas adecuadas así como la presencia de miembros de la familia en el manejo del paro cardiorrespiratorio.

#### *Técnicas para mejorar la resucitación cardiopulmonar*

##### *a) Entrenamiento y capacitación*

Existe un número de debilidades y oportunidades en los métodos actuales de RCP. Bajo los paradigmas actuales de entrenamiento la retención de las habilidades para la resucitación cardiopulmonar es pobre, incluso para rescatadores profesionales (33). Es posible que un aumento en la frecuencia del entrenamiento pueda mejorar la retención de las habilidades y su rendimiento. También ha sido demostrado que el método con el cual la RCP es enseñada, puede influir en la retención y en la habilidad para realizar este procedimiento (34,36). Por ejemplo, los médicos y los rescatadores legos difieren enormemente

en las necesidades de tiempo para adquirir conocimiento médico y habilidades, y difieren en la forma de ayudar mejor a retener este conocimiento (37,38). Haciendo una selección de las necesidades del grupo de las diferentes clases de formato, la retención de las habilidades puede mejorar en forma significativa. Hay consideraciones adicionales que se refieren al rendimiento de la resucitación cardiopulmonar en el ambiente público. Ha sido documentado que hay una gran resistencia de los transeúntes a realizar una RCP ya sea debido al miedo de dañar al paciente o más frecuentemente debido al contacto boca a boca necesario para dar la ventilación (39). Desafortunadamente, en un evento de paro cardiorrespiratorio extrahospitalario, los profesionales entrenados en el Basic Life Support (BLS) o en el Advanced Cardiac Life Support (ACLS) no siempre son los primeros en llegar al lugar de la escena. Es importante comenzar la resucitación cardiopulmonar tan pronto como se produzca el paro cardíaco, incluso se ha demostrado con un número de investigaciones (40,41); así los transeúntes sirven como determinante crucial en la resucitación cardiopulmonar y en la sobrevida del paciente cuando los profesionales entrenados no están disponibles (42,43). Las campañas que se han realizado para aumentar la sensibilidad pública en la importancia de la resucitación cardiopulmonar y muchas ubicaciones públicas como aeropuertos, casinos, centros comerciales. Algunos de estos usan desfibriladores automáticos externos (AEDs) que están disponibles para ayudar al proceso y en forma precoz (44). Un estudio de simulación reciente guiado para personas no entrenadas usando un desfibrilador automático experimental con un audio, aporta a la resucitación directa y del cuidado (45). Ellos encontraron que incluso sin un entrenamiento previo en RCP, los niveles de rendimiento eran adecuados y los sujetos se sentían más confiados realizando una RCP cuando el audio era dado, que cuando no lo era. Por asegurar los temores de los transeúntes legos y la introducción de técnicas de soporte del rendimiento, en el trata-

miento precoz de las víctimas del paro fuera del hospital, podrían mejorar en la mayor parte de los casos en los años que vienen.

#### **b) Métodos alternativos de la RCP**

Mientras que las guías de la RCP son establecidas por consenso experto, existen pocos datos humanos para sostener recomendaciones específicas y los paradigmas alternativos de la RCP están actualmente en un área importante de investigación. Por ejemplo, ha sido cuestionado que si la desfibrilación agresiva y precoz debe siempre preceder a la resucitación cardiopulmonar. Varios estudios provocativos han sugerido que retardar la desfibrilación para permitir una RCP precoz podría incluso mejorar el resultado de la desfibrilación inmediata (11). Otro tópico de investigación, ya sea si la ventilación durante la resucitación cardiopulmonar sea acortada o incluso eliminada (46, 50). Los estudios tanto en animales como en modelos humanos de resucitación cardiopulmonar parecen sostener la noción de que demasiada ventilación tiene un efecto sobre la hemodinamia y en la recuperación del paro cardíaco.

Más aún, estas investigaciones sugieren que durante los primeros minutos de la RCP, la oxigenación es mucho menos importante que el restablecimiento del flujo sanguíneo por la compresión. Además, las pausas en las compresiones para dar la ventilación pueden ser dañinas ya que la acción de perfusión coronaria cae efectivamente durante las pausas breves. Eliminar las ventilaciones al menos por los primeros minutos de la RCP ha sido propuesto por algunos académicos para prevenir ya sea las pausas entre las compresiones así como para aumentar la frecuencia de compresiones dadas en la RCP por legos, una RCP sólo de compresiones podría ser más fácil de realizar y podría eliminar las preocupaciones de los rescatadores a propósito del contacto boca a boca con el paciente. A pesar de estas noción en ciertos casos específicos, la eliminación de la ventilación podría ser deletérea,

tal como es el caso del paro cardiorrespiratorio debido a una asfixia o a una obstrucción de la vía aérea. Se requiere más investigación clínica a propósito para clarificar estos temas que se relacionan con la ventilación.

Otros esfuerzos para mejorar la RCP incluyen modificaciones de la técnica misma. Las alteraciones experimentales incluyen la descompresión activa (ACD), las compresiones abdominales interpuestas (IAC), las compresiones torácicas realizadas en posición prono y la resucitación cardiopulmonar "sobre la cabeza". En modelos experimentales, la ACD ha demostrado aumentar el flujo durante la descompresión respecto de lo que se podría por vía pasiva por la vía torácica (51). Resultados similares han sido observados en el IAC, con el cual la compresión abdominal ha dado mejores compresiones torácicas para mejorar el flujo hacia el tórax durante la descompresión (52). Los resultados de los estudios usando la IAC han tenido algunos efectos estimulantes mezclados en su resultado (53,56). La resucitación cardiopulmonar en prono se realiza en pacientes que están acostados sobre su estómago y su cabeza está hacia uno de los antebrazos para ayudar a la apertura de la vía aérea, mientras las compresiones son efectuadas en el dorso (57). La resucitación cardiopulmonar en prono en las investigaciones han sido limitadas y para la mayor parte consiste en casos ocasionales (58). Finalmente, el método "sobre la cabeza" (OTH) ha sido recientemente entrenado especialmente para la resucitación hecha por un solo rescatador. En esta variante de RCP las compresiones son realizadas por el rescatador posicionado en la cabeza del paciente. Esto permite dar al rescatador más fácilmente la ventilación en conjunto con las compresiones sin cambiar de posición (59). Semejante a las compresiones en prono la evaluación del OTH ha sido limitada en número.

#### **c) Señales auditivas**

Una posible aproximación para mejorar el rendimiento de la RCP es actualmente la forma de

uso de claves auditivas durante la resucitación con guía de rescatadores. La forma más simple de estas guías ha sido usada con el uso de metronomes para guiar las compresiones y los ciclos respiratorios (21). Una investigación de este principio ha demostrado en el paro cardíaco simulado, señalando que un metronome permite al rescatador actuar casi uniformemente con las recomendaciones de las compresiones. Otra estrategia para las claves del audio deben ser permitir un mensaje inteligente para ser entregado en el monitoreo y en los registros de la RCP. Los desarrollos tecnológicos recientes han permitido que la calidad de la RCP sea medida en tiempo real y que un feedback de voz pueda ser dado según la correspondiente medida. Los aparatos con estas claves en tiempo real han sido usados para probar al rescatador profesional en simulaciones en maniquí (26,27), y se ha encontrado que con un feedback auditivo los parámetros del rendimiento de la RCP han mejorado significativamente. La investigación actual está siendo conducida para testear ya sea un aparato con un sistema automático de feedback, que pueda dar indicaciones durante las maniobras de resucitación cardiopulmonar. Si esto sucede, tal aparato podría ser una herramienta importante en los rescatadores lejos para asistirlos durante las maniobras de RCP.

#### *d) Aparatos mecánicos de resucitación cardiopulmonar*

Como se ha descrito antes, un método de realizar la RCP puede ser comprometer el rendimiento y en las mejorías en la resucitación manual. Una aproximación completamente diferente sería remover el factor humano de la RCP manual. Para esto, una variedad de aparatos mecánicos han sido desarrollados para realizar una compresión automática uniforme en forma externa, como se muestra en la figura 2(60). Estos aparatos mecánicos tienen variadas ventajas sobre la RCP manual ya que son confiables en producir una compresión consistente con una dada de frecuencia y profundidad, liberan al rescatador de dar atención a otros aspectos de la resucita-

ción avanzada y son útiles durante el transporte del paciente, pudiendo ayudar a eliminar el problema de la fatiga del rescatador. Sin embargo, estos aparatos tienen una serie de desventajas así como su prohibición para ser usados en forma general: ocupan espacio, son pesados, costosos y existen pocos datos clínicos que sostengan su utilidad clínica.

Actualmente, hay dos tipos generales de aparatos de RCP automática. El primero incluye un aparato con pistón, (como el "Thumper" de Michigan Instruments) que aplica directamente una presión al esternón en forma muy semejante a la que se hace durante la RCP manual. Mientras que el Thumper mismo tiene un mecanismo energizado por gas, otros aparatos de pistones usan solamente sistemas eléctricos. En la actualidad, el Thumper es el más usado en las investigaciones en laboratorio; sin embargo, otro aparatos han sido clínicamente útiles (el "Heartsaver 2000", por ejemplo) debido a su facilidad de transporte y disponibilidad de fuentes de poder. Otra categoría de aparatos mecánicos automáticos implican las compresiones difusas del tórax completo por vía de una banda o un vestón. Las compresiones no son aplicadas directamente en un punto específico de la pared y en su lugar son entregadas a través de la circunferencia del tórax. De esta forma, el tórax es manipulado como un todo y el flujo sanguíneo se genera siguiendo el modelo de la bomba torácica.

La investigación se ha conducido usando este vestón automático, así como la versión comercial disponible del "Autopulse" que usa una banda de compresión energizada por batería. Este aparato ha demostrado que el aparato es capaz de generar un flujo sanguíneo confiable con incluso una entrega de la fuerza a través de tórax y por lo tanto, minimizando el riesgo de fracturas costales o de otras lesiones al paciente (61, 64). Grandes ensayos clínicos se requieren para determinar, ya sea, si cualquiera de estos aparatos mecánicos mejora el rendimiento de la RCP ma-

nual. Un ensayo de este tipo que implica el "Autopulse" está siendo realizado en varios centros en Estados Unidos.

Una serie de aparatos también han sido desarrollados para asistir a los rescatadores en su esfuerzo de resucitación. En general, estas herramientas consisten en buzos o pistones unidos a un brazo mecánico que el rescatador manipula manualmente en orden a comprimir el tórax. Algunos tienen componentes adicionales que dan ventilación. Estos aparatos tienden a ser más livianos y portátiles ya que no siempre están unidos a una fuente de poder y pueden ayudar a un rescatador único en los esfuerzos de resucitación. El "Cardio Pulser" es uno de estos aparatos y trabaja por la entrega de una compresión cuando se baja la palanca del aparato, mientras que da la ventilación cuando se hace la elevación (60). Si estos aparatos son mejoras a la RCP estándar, debe recordarse que deben ser comprometidos por la manipulación humana y, por lo tanto, pueden también ser víctimas de limitaciones descritas en relación a la resucitación manual. Una investigación cuidadosa debe ser realizada para asegurarse que estos aparatos pueden ser usados de modo que la mayoría de las veces mejoren la calidad del proceso.

### Conclusión

El paro cardíaco sigue siendo un problema epidemiológico de salud pública importante en Estados Unidos y en todo el mundo. Mientras que la RCP se requiere para asistir a las víctimas que están en paro cardiorrespiratorio, las prácticas actuales de rendimiento dejan mucho que desear. Pocos pacientes sobreviven a una RCP y otras terapias. Con el conocimiento de la gran importancia y de la alta calidad y de los esfuerzos de la RCP que deben ser tomados, no sólo con aumentar el número de pacientes en que se usa la RCP, sino para también mejorar la retención de las habilidades. Más aún, el esfuerzo debe ser realizado para encontrar mecanismos alternativos en dar una atención de calidad por modificaciones en la práctica actual de la RCP creando aparatos que ayuden al rescatador durante la realización de la maniobra de RCP. Incluso una pequeña mejora en el aporte del cuidado puede traducirse en miles de vidas adicionales salvadas cada año.

## Referencias

1. Becker LB. The epidemiology of sudden death. In: Paradis NA, Halperin HR, Nowak RM, eds. *Cardiac arrest: the science and practice of resuscitation medicine*. Baltimore: Williams & Wilkins; 1996:28-47.
2. Eisenberg MS, Mengert TJ. Cardiac resuscitation. *N Engl J Med*. 2001;344:1304-13.
3. Eisenberg MS, Horwood BT, Cummins RO, Reynolds-Haertle R, Hearne TR. Cardiac arrest and resuscitation: a tale of 29 cities. *Ann Emerg Med*. 1990;19:179-86.
4. Becker LB, Weisfeldt ML, Weil MH, Budinger T, Carrico J, Kern K, Nichol G, Shechter I, Traystman R, Webb C, Wiedemann H, Wise R, Sopko G. The PULSE initiative: scientific priorities and strategic planning for resuscitation research and life saving therapies. *Circulation*. 2002;105:2562-70.
5. Peberdy MA, Kaye W, Ornato JP, Larkin GL, Nadkarni V, Mancini ME, Berg RA, Nichol G, Lane-Trulitt T. Cardiopulmonary resuscitation of adults in the hospital: a report of 14720 cardiac arrests from the National Registry of Cardiopulmonary Resuscitation. *Resuscitation*. 2003;58:297-308.
6. Herlitz J, Svensson L, Holmberg S, Angquist KA, Young M. Efficacy of bystander CPR: Intervention by lay people and by health care professionals. *Resuscitation*. 2005;66:291-5.
7. Van Hoeyweghen RJ, Bossaert LL, Mullie A, Calle P, Martens P, Buylaert WA, Delooz H. Quality and efficiency of bystander CPR. Belgian Cerebral Resuscitation Study Group. *Resuscitation*. 1993;26:47-52.
8. Gallagher EJ, Lombardi G, Gennis P. Effectiveness of bystander cardiopulmonary resuscitation and survival following out-of-hospital cardiac arrest. *Jama*. 1995;274:1922-5.
9. Wik L, Steen PA, Bircher NG. Quality of bystander cardiopulmonary resuscitation influences outcome after prehospital cardiac arrest. *Resuscitation*. 1994;28:195-203.
10. Wik L, Hansen TB, Fylling F, Steen T, Vaagenes P, Auestad BH, Steen PA. Delaying defibrillation to give basic cardiopulmonary resuscitation to patients with out-of-hospital ventricular fibrillation: a randomized trial. *Jama*. 2003;289:1389-95.
11. Cobb LA, Fahrenbruch CE, Walsh TR, Copass MK, Olsufka M, Breskin M, Hallstrom AP. Influence of cardiopulmonary resuscitation prior to defibrillation in patients with out-of-hospital ventricular fibrillation. *Jama*. 1999;281:1182-8.
12. Guidelines 2000 for cardiopulmonary resuscitation and emergency cardiovascular care: International consensus on science. *Circulation*. 2000;102(suppl):I-1-I-403.
13. Idris AH, Becker LB, Fuerst RS, Wenzel V, Rush WJ, Melker RJ, Orban DJ. Effect of ventilation in an animal model of cardiac arrest. *Circulation*. 1994;90:3063-3069.
14. Berg RA, Kern KB, Hilwig RW, Berg MD, Sanders AB, Otto CW, Ewy GA. Assisted ventilation does not improve outcome in a porcine model of single-rescuer bystander cardiopulmonary resuscitation. *Circulation*. 1997;95:1635-41.
15. Berg RA, Sanders AB, Kern KB, Hilwig RW, Heidenreich JW, Porter ME, Ewy GA. Adverse hemodynamic effects of interrupting chest compressions for rescue breathing during cardiopulmonary resuscitation for ventricular fibrillation cardiac arrest. *Circulation*. 2001;104:2465-70.
16. Kern KB, Hilwig RW, Berg RA, Sanders AB, Ewy GA. Importance of continuous chest compressions during cardiopulmonary resuscitation: improved outcome during a simulated single lay-rescuer scenario. *Circulation*. 2002;105:645-9.
17. Yu T, Weil MH, Tang W, Sun S, Klouche K, Povoas H, Bisera J. Adverse outcomes of interrupted precordial compression during automated defibrillation. *Circulation*. 2002;106:368-72.
18. Kern KB. Limiting interruptions of chest compressions during cardiopulmonary resuscitation. *Resuscitation*. 2003;58:273-4.
19. Kostner R. Limiting "hands-off" periods during resuscitation. *Resuscitation*. 2003;58:275-6.
20. Fries M TW. How does interruption of cardiopulmonary resuscitation affect survival from cardiac arrest? *Curr Opin Crit Care*. 2005;11:200-3.
21. Milander MM, Hiscok PS, Sanders AB, Kern KB, Berg RA, Ewy GA. Chest compression and ventilation rates during cardiopulmonary resuscitation: the effects of audible tone guidance. *Acad Emerg Med*. 1995;2:708-13.
22. Aufderheide TP, Sigurdsson G, Pirrallo RG, Yannopoulos D, McKnite S, von Briesen C, Sparks CW, Conrad CJ, Provo TA, Lurie KG. Hyperventilation-induced hypotension during cardiopulmonary resuscitation. *Circulation*. 2004;109:1960-5.
23. Abella BS, Alvarado JP, Myklebust H, Edelson DP, Barry A, O'Hearn N, Vanden Hoek TL, Becker LB. Quality of cardiopulmonary resuscitation during in-hospital cardiac arrest. *Jama*. 2005;293:305-10.
24. Wik L, Kramer-Johansen J, Myklebust H, Sorebo H, Svensson L, Fellows B, Steen PA. Quality of cardiopulmonary resuscitation during out-of-hospital cardiac arrest. *Jama*. 2005;293:299-304.
25. Abella BS, Sandbo N, Vassilatos P, Alvarado JP, O'Hearn N, Wigder HN, Hoffman P, Tynus K, Vanden Hoek TL, Becker LB. Chest compression rates during cardiopulmonary resuscitation are suboptimal: a prospective study during in-hospital cardiac arrest. *Circulation*. 2005;111:428-34.
26. Wik L, Thowsen J, Steen PA. An automated voice advisory manikin system for training in basic life support without an instructor. A novel approach to CPR training. *Resuscitation*. 2001;50:167-72.
27. Handley AJ, Handley SA. Improving CPR performance using an audible feedback system suitable for incorporation into

an automated external defibrillator. *Resuscitation*. 2003;57:57-62.

28. Hightower D, Thomas SH, Stone CK, Dunn K, March JA. Decay in quality of closed-chest compressions over time. *Ann Emerg Med*. 1995;26:300-3.

29. Ashton A, McCluskey A, Gwinnutt CL, Keenan AM. Effect of rescuer fatigue on performance of continuous external chest compressions over 3 min. *Resuscitation*. 2002;55:151-5.

30. Marsch SC, Muller C, Marquardt K, Conrad G, Tschan F, Hunziker PR. Human factors affect the quality of cardiopulmonary resuscitation in simulated cardiac arrests. *Resuscitation*. 2004;60:51-6.

31. Kaye W, Mancini ME. Retention of cardiopulmonary resuscitation skills by physicians, registered nurses, and the general public. *Crit Care Med*. 1986;14:620-2.

32. Wenzel V, Lehmkuhl P, Kibilis PS, Idris AH, Pichlmayr I. Poor correlation of mouth-to-mouth ventilation skills after basic life support training and 6 months later. *Resuscitation*. 1997;35:129-34.

33. Eisenburger P, Safar P. Life supporting first aid training of the public--review and recommendations. *Resuscitation*. 1999;41:3-18.

34. Wik L, Myklebust H, Auestad BH, Steen PA. Twelve-month retention of CPR skills with automatic correcting verbal feedback. *Resuscitation*. 2005;66:27-30.

35. Kaye W, Rallis SF, Mancini ME, Linhares KC, Angell ML, Donovan DS, Zajano NC, Finger JA. The problem of poor retention of cardiopulmonary resuscitation skills may lie with the instructor, not the learner or the curriculum. *Resuscitation*. 1991;21:67-87.

36. Todd KH, Braslow A, Brennan RT, Lowery DW, Cox RJ, Lipscomb LE, Kellermann AL. Randomized, controlled trial of video self-instruction versus traditional CPR training. *Ann Emerg Med*. 1998;31:364-9.

37. Batcheller AM, Brennan RT, Braslow A, Urrutia A, Kaye W. Cardiopulmonary resuscitation performance of subjects over forty is better following half-hour video self-instruction compared to traditional four-hour classroom training. *Resuscitation*. 2000;43:101-10.

38. Eisenberg M, Damon S, Mandel L, Tewodros A, Meischke H, Beaupied E, Bennett J, Guildner C, Ewell C, Gordon M. CPR instruction by videotape: results of a community project. *Ann Emerg Med*. 1995;25:198-202.

39. Shibata K, Taniguchi T, Yoshida M, Yamamoto K. Obstacles to bystander cardiopulmonary resuscitation in Japan. *Resuscitation*. 2000;44:187-93.

40. So HY, Buckley TA, Oh TE. Factors affecting outcome following cardiopulmonary resuscitation. *Anaesth Intensive Care*. 1994;22:647-58.

41. Mitchell RG, Brady W, Guly UM, Pirrallo RG, Robertson CE. Comparison of two emergency response systems and their effect on survival from out of hospital cardiac arrest. *Resuscitation*. 1997;35:225-9.

42. Holmberg M, Holmberg S, Herlitz J. Effect of bystander cardiopulmonary resuscitation in out-of-hospital cardiac arrest patients in Sweden. *Resuscitation*. 2000;47:59-70.

43. Cummins RO, Eisenberg MS. Prehospital cardiopulmonary resuscitation. Is it effective? *Jama*. 1985;253:2408-12.

44. Hallstrom AP, Ornato JP, Weisfeldt M, Travers A, Christenson J, McBurnie MA, Zalenski R, Becker LB, Schron EB, Proschman M. Public-access defibrillation and survival after out-of-hospital cardiac arrest. *N Engl J Med*. 2004;351:637-46.

45. Williamson LJ, Larsen PD, Tzeng YC, Galletly DC. Effect of automatic external defibrillator audio prompts on cardiopulmonary resuscitation performance. *Emerg Med J*. 2005;22:140-3.

46. Berg RA, Kern KB, Sanders AB, Otto CW, Hilwig RW, Ewy GA. Bystander cardiopulmonary resuscitation. Is ventilation necessary? *Circulation*. 1993;88:1907-15.

47. Babbs CF, Kern KB. Optimum compression to ventilation ratios in CPR under realistic, practical conditions: a physiological and mathematical analysis. *Resuscitation*. 2002;54:147-57.

48. Sanders AB, Kern KB, Berg RA, Hilwig RW, Heidenreich J, Ewy GA. Survival and neurologic outcome after cardiopulmonary resuscitation with four different chest compression-ventilation ratios. *Ann Emerg Med*. 2002;40:553-62.

49. Heidenreich JW, Sanders AB, Higdon TA, Kern KB, Berg RA, Ewy GA. Uninterrupted chest compression CPR is easier to perform and remember than standard CPR. *Resuscitation*. 2004;63:123-30.

50. Yannopoulos D, Sigurdsson G, McKnite S, Benditt D, Lurie KG. Reducing ventilation frequency combined with an inspiratory impedance device improves CPR efficiency in swine model of cardiac arrest. *Resuscitation*. 2004;61:75-82.

51. Plaisance P, Adnet F, Vicaut E, Hennequin B, Magne P, Prudhomme C, Lambert Y, Cantineau JP, Leopold C, Ferracci C, Gizzi M, Payen D. Benefit of active compression decompression cardiopulmonary resuscitation as a prehospital advanced cardiac life support. A randomized multicenter study. *Circulation*. 1997;95:955-61.

52. Babbs CF. Interposed abdominal compression CPR: a comprehensive evidence based review. *Resuscitation*. 2003;59:71-82.

53. Sack JB, Kesselbrenner MB, Bregman D. Survival from in-hospital cardiac arrest with interposed abdominal counterpulsation during cardiopulmonary resuscitation. *Jama*. 1992;267:379-85.

54. Sack JB, Gerber RS, Kesselbrenner MB. Active compression-decompression cardiopulmonary

resuscitation. *Jama*. 1992;268:3200-1.

55. Arntz HR, Agrawal R, Richter H, Schmidt S, Reschkeleit T, Menges M, Burbach H, Schroder J, Schultheiss HP. Phased chest and abdominal compression-decompression versus conventional cardiopulmonary resuscitation in out-of-hospital cardiac arrest. *Circulation*. 2001;104:768-72.

56. Xavier L, Kern KB, Berg RA, Hilwig RW, Ewy GA. Comparison of standard CPR versus diffuse and stacked hand position interposed abdominal compression-CPR in a swine model. *Resuscitation*. 2003;59:337-44.

57. Stewart JA. Resuscitating an idea: prone CPR. *Resuscitation*. 2002;54:231-6.

58. Mazer SP, Weisfeldt M, Bai D, Cardinale C, Arora R, Ma C, Sciacca RR, Chong D, Rabbani LE. Reverse CPR: a pilot study of CPR in the prone position. *Resuscitation*. 2003;57:279-85.

59. Perkins GD, Stephenson BT, Smith CM, Gao F. A comparison between over-the-head and standard cardiopulmonary resuscitation. *Resuscitation*. 2004;61:155-61.

60. Wik L. Automatic and manual mechanical external chest compression devices for cardiopulmonary resuscitation. *Resuscitation*. 2000;47:7-25.

61. Halperin HR, Tsitlik JE, Gelfand M, Weisfeldt ML, Gruben KG, Levin HR, Rayburn BK, Chandra NC, Scott CJ, Kreps BJ, et al. A preliminary study of cardiopulmonary resuscitation by circumferential compression of the chest with use of a pneumatic vest. *N Engl J Med*. 1993;329:762-8.

62. Halperin H, Berger R, Chandra N, Ireland M, Leng C, Lardo A, Paradis N. Cardiopulmonary resuscitation with a hydraulic-pneumatic band. *Crit Care Med*. 2000;28:N203-6.

63. Halperin HR, Paradis N, Ornato JP, Zviman M, Lacorte J, Lardo A, Kern KB. Cardiopulmonary resuscitation with a novel chest compression device in a porcine model of cardiac arrest: improved hemodynamics and mechanisms. *J Am Coll Cardiol*. 2004;44:2214-20.

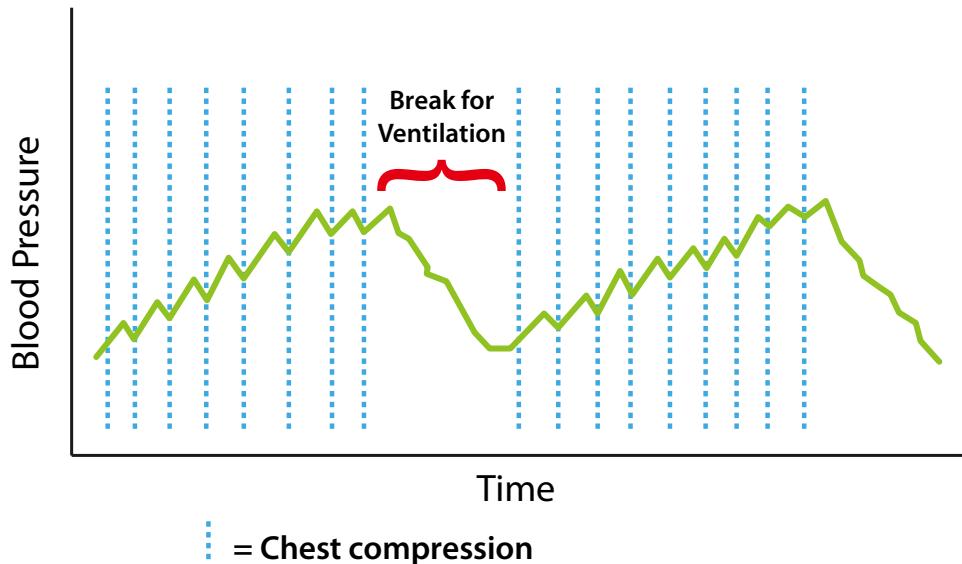
64. Timerman S, Cardoso LF, Ramires JA, Halperin H. Improved hemodynamic performance with a novel chest compression device during treatment of in-hospital cardiac arrest. *Resuscitation*. 2004;61:273-80.

65. Ko PC, Chen WJ, Lin CH, Ma MH, Lin FY. Evaluating the quality of prehospital cardiopulmonary resuscitation by reviewing automated external defibrillator records and survival for out-of-hospital witnessed arrests. *Resuscitation*. 2005;64:163-9.

66. Valenzuela TD, Kern KB, Clark LL, Berg RA, Berg MD, Berg DD, Hilwig RW, Otto CW, Newburn D, Ewy GA. Interruptions of chest compressions during emergency medical systems resuscitation. *Circulation*. 2005;112:1259-65.

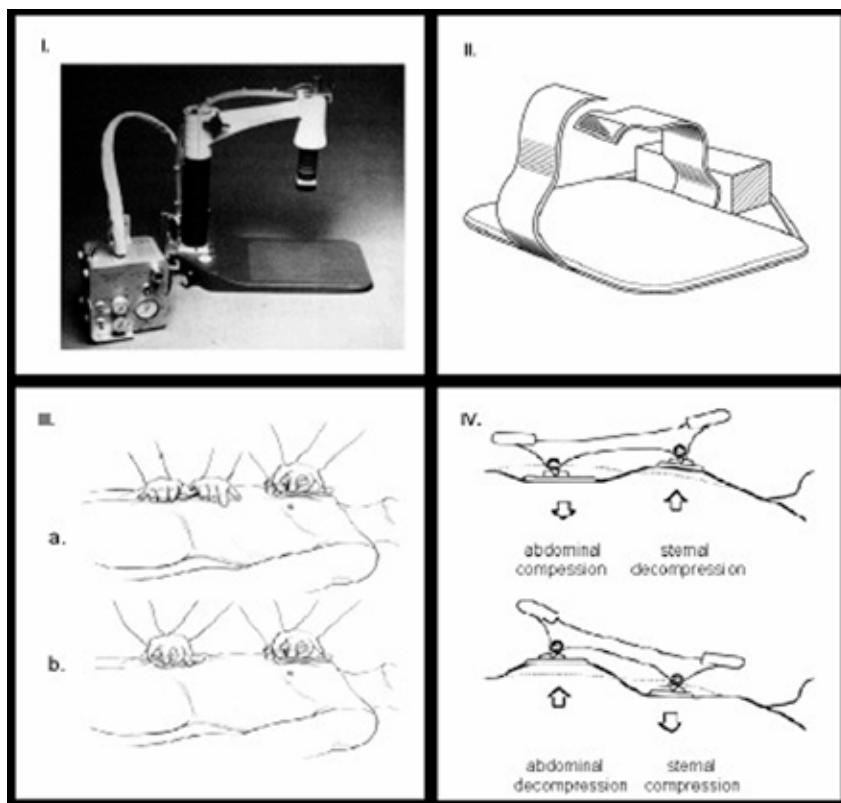
**Figure 1. The effect of CPR pauses on hemodynamics**

## Standard CPR (With breaths)



This graph shows blood pressure over time. With each compression, represented by the blue dashed lines, there is a small spike in blood pressure. Continuous compressions cause a build-up of blood pressure which falls dramatically in the few seconds taken for a ventilation break.

**Figure 2. Mechanical CPR devices and alternative CPR methods**



Here are shown selected devices and alternate methods of CPR delivery. I, a piston-driven chest compression device. II, a circumferential band chest compression device. III, interposed abdominal compressions with either dispersed hand position for the abdomen (a) or stacked hands (b). IV, interposed abdominal compression with mechanical assistance from a "Lifestick" device.

**Table 1. Summary of selected investigations into CPR quality**

|                              | Setting         | # of Subjects | Type of Measurement | Summary Findings  |
|------------------------------|-----------------|---------------|---------------------|---|
| VanHoeyweghen et al., 1993 7 | By-stander      | 885           | Subjective          | CPR performed incorrectly or incompletely in 1/2 of cases, although no correlation to poorer outcome. |
| Gallagher et al., 1995 8     | By-stander      | 2071          | Subjective          | Effective CPR (high quality) is significantly linked to improvements in survival.                     |
| Milander et al., 1995 21     | In-hospital     | 12            | Semi-Quantitative   | Chest compression rate too low, ventilation rate too high.  |
| Wik et al., 2001 26          | Simulation      | 24            | Quantitative        | Incorrect chest compression depth, ventilation rate too high, incorrect ventilation volume.           |
| Handley & Handley, 2003 27   | Simulation      | 36            | Quantitative        | Compression depth too shallow, ventilation rate high, incorrect ventilation volume.                   |
| Aufderheide et al., 2004 22  | Out-of-hospital | 13            | Quantitative        | Ventilation rate too high.  |
| Abella et al., 2005 25       | In-hospital     | 97            | Semi-Quantitative   | Chest compression rate too low, correlation between suboptimal compressions and poor ROSC.            |
| Abella et al., 2005 23       | In-hospital     | 67            | Quantitative        | Chest compression rate & depth too low, ventilation rate too high, no flow time too long.             |
| Ko et al., 2005 65           | Out-of-hospital | 52            | Subjective          | The majority of CPR performed was inadequate, adequate CPR was correlated with greater ROSC.          |
| Valenzuela et al., 2005 66   | Out-of-hospital | 61            | Quantitative        | Frequent interruption of chest compressions.  |
| Wik et al., 2005 24          | Out-of-hospital | 176           | Quantitative        | Chest compression rate too high, chest compression depth too low, no flow time too long.              |

Abbreviations: ROSC, return of spontaneous circulation